

Samu Kinnunen

Vesisumusammutusjärjestelmän ympäristövaikutusten arviointimenetelmät

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Kone- ja tuotantotekniikka
Insinöörityö
20.8.2012

| | |
|--|--|
| Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika | Samu Kinnunen Vesisumusammutusjärjestelmän ympäristövaikutusten arviointimenetelmät 29 sivua + 8 liitettä 3 Elokuuta 2012 23.8.2012 |
| Tutkinto | Insinööri (AMK) |
| Koulutusohjelma | Kone- ja tuotantotekniikka |
| Suuntautumisvaihtoehto | Tuotesuunnittelu |
| Ohjaajat | Lehtori Juha Kotamies Manager Markku Vuorisalo |
| <p>Vesisumusammutusjärjestelmää pidetään ympäristöystävällisenä vaihtoehtona vesipohjais-ten sammutusjärjestelmien joukossa, mutta tätä väitettä ei ole koskaan todistettu käytän-nössä. Vesisumusammutusjärjestelmän tehokkuus ja sen käyttämän vesimäärän vähyys on tutkittu ja todistettu fakta, mutta vesisumujärjestelmä on rakenteeltaan erilainen kuin esi-merkiksi perinteinen vesisprinklerijärjestelmä.</p> <p>Tämän työn tarkoituksena oli tutkia erilaisia ympäristövaikutusten arviointiin käytettyjä menetelmiä ja niiden soveltuvuutta vesisumusammutusjärjestelmään. Tässä työssä tutkit-tiin elinkaariarviointi, hiilijalanjälki, materiaalivirta ja panos-tuotosmallimenetelmiä. Tutki-muksen kohteena oleva vesisumusammutusjärjestelmä oli 3000 sprinklerin järjestelmä, ja sitä tarkasteltiin Marioff Corporation Oy:n luovuttaman tiedon perusteella.</p> <p>Sopiviksi menetelmiksi valittiin materiaalivirta- ja hiilijalanjälkianalyysi. Järjestelmän moni-mutkaisuus, komponenttien suuri määrä sekä tiedon vähyys ja epäluotettavuus aiheuttaa tuloksiin suurta epävarmuutta. Epävarmuuksien takia tarkasteluun otettiin vain järjestel-män putkisto, jonka massavirta tämän kokoisessa järjestelmässä on arviolta 70 %:n luok-kaa koko järjestelmästä. Työn käytännön osuudessa laskettiin putkiston massavirta ja ar-vio sen hiilijalanjäljelle. Hiilijalanjälki laskettiin Outokummun Tuomas Haikan tarjoamien tietojen perusteella.</p> <p>Ympäristötietoinen tuotanto on kehittyvää alaa ja sen tueksi kehitetyt menetelmät sopivat nykyisellään vain yksinkertaisten tuotteiden ympäristövaikutusten arviointiin. Monimutkai-sempien tuotteiden tutkiminen on vaikeaa ja aikaa vievää työtä eikä luotettavaa tietoa ole välttämättä tarpeeksi saatavilla. Luotettavien tuloksien saaminen voi osoittautua jopa mahdottomaksi. Ympäristöystävällisempään tuotantoon ja toimintaan johtavan kehityksen tulisi perustua yrityksen resurssien, mahdollisuuksien ja tarpeiden tunnistamiseen, eikä itse tavoitteeseen eli yleisesti ympäristöystävällisempään toimintaan.</p> | |
| Avainsanat | elinkaari, ympäristövaikutukset, vesisumu |

| | |
|---|--|
| Author(s) Title Number of Pages Date | Samu Kinnunen Methods to Assess the Impact of Water Mist Fire Protection System on the Environment 29 pages + 8 appendices 23 August 2012 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Mechanical Engineering |
| Specialisation option | Product Design |
| Instructor(s) | Juha Kotamies, Principal Lecturer Markku Vuorisalo, Manager |
| <p>A water-mist fire extinguishing system is considered an environmentally friendly alternative to water-based fire extinguishing systems but this claim has never been proven in practice. The effectiveness of Water mist fire protection system and the amount of water used by the system have been studied and proven fact, but the water-mist system is structured differently than, for example, a traditional water sprinkler system.</p> <p>The objective of this Bachelor's thesis was to examine a variety of environmental impact assessment evaluation methods and their suitability for a water mist fire protection system. This study examines the life-cycle assessment, carbon footprint, material flow and input-output methods. The subject of investigation was a water mist fire protection system of 3000 sprinklers, and it was studied on the basis of information provided by Marioff Corporation Oy.</p> <p>The methods that were chosen were the flow of materials and a carbon footprint analysis. However, the complexity of the system, a large number of components and the lack of information and lack of reliability of the results lead to a great uncertainty. Due to the uncertainties, only the piping system was studied more thoroughly. The piping system's mass flow is estimated to be 70% of the whole system. In the practical part of the thesis the mass flow rate and an estimate of the carbon footprint for the piping were calculated. The carbon footprint was calculated based on the information provided by Outokumpu and Tuomas Haikka.</p> <p>Environmentally conscious production is an evolving field and is supported by different environmental impact assessment methods. At present, these methods are suitable only for simple products. Furthermore, the study of more complex products is difficult and time consuming work and reliable information is not necessarily available. Therefore, to obtain reliable results can prove to be even impossible. In conclusion, environmentally friendly production and actions should be reached by identifying available resources, the capacities and needs of the company, and not by setting an ultimate, environmentally friendly goal.</p> | |
| Keywords | lifecycle, environment, impact, assessment, water-mist |

Sisälllys

Lyhenteet

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Järjestelmän esittely | 2 |
| 2.1 | Vesi sammutusvälineenä | 2 |
| 2.2 | Tarkasteltava systeemi ja sen toiminta | 3 |
| 3 | Tutkimamenetelmien esittely | 5 |
| 3.1 | Elinkaaren määrittäminen | 5 |
| 3.2 | Life Cycle Assessment (LCA) | 6 |
| 3.3 | Hiilijalanjälki | 11 |
| 3.4 | Ympäristölaajennettu panos-tuotosmalli | 13 |
| 3.5 | Materiaalivirta-analyysi | 15 |
| 3.6 | Elinkaarimenetelmien epävarmuus- ja virhetekijät | 17 |
| 4 | Sopivan menetelmän valitseminen | 19 |
| 5 | Valitun menetelmän käyttö | 20 |
| 5.1 | Materiaalivirta-analyysi | 20 |
| 5.2 | Hiilijalanjälki | 22 |
| 6 | Päätelmät ja havainnot | 24 |
| 7 | Yhteenveto | 26 |
| | Lähteet | 28 |

Liitteet

Liite 1. BOM 800 sprinklers

Liite 2. Putkilaskelmat

Lyhenteet

| | |
|------|--|
| GWP | Global Warming Potential. Kerroin jolla kuvataan aineen vaikutusta ilmastoon lämpenemiseen hiilidioksidiin verrattuna. |
| ILCD | The International Reference Life Cycle Data System. EU:n komission koordinoima ohjeistus ja tietopankki laadukkaaseen ja johdonmukaisen elinkaariarviointiin ja tutkimukseen. |
| LCA | Life cycle Assessment. Tuotejärjestelmän elinkaaren aikaisten syötteiden ja tuotosten sekä potentiaalisten ympäristövaikutusten koostaminen ja arviointi (SFS-EN ISO 14040). |
| LCI | Life Cycle Inventory analysis. Inventaarioanalyysi. Elinkaariarvioinnin vaihe, jossa annetun tuotteen elinkaaren aikaiset syötteen ja tuotokset koostetaan ja kuvataan määrällisinä. |
| LCIA | Life Cycle Impact Assessment. Vaikutusarviointi. Elinkaariarvioinnin vaihe, jonka tarkoituksena on ymmärtää ja arvioida tuotejärjestelmän potentiaalisten ympäristövaikutusten laajuutta ja merkittävyyttä koko tuotteen elinkaaren aikana (SFS-EN ISO 14044). |
| MIPS | Material Input per Service Unit. Yksikkö joka ilmoittaa kuinka paljon tietyn ainemäärän tai palvelun tuottaminen vaatii luonnonvaroja. |

1 Johdanto

Vesisumusammutusjärjestelmiä pidetään ja jossain määrin markkinoidaan ympäristöystävällisenä vaihtoehtona vesipohjaisten sammutusjärjestelmien joukossa, mutta tämän väitteen todenperäisyyttä ei ole kuitenkaan todistettu käytännössä. Vesisumusammutusjärjestelmän nopea ja tehokas vaikutus tulipaloon, sekä vesimäärän vähyys, ja täten myös mahdollisten vesivahinkojen pienempi laajuus perinteiseen sprinklerijärjestelmiin verrattuna, on monesti testattu ja todistettu fakta. Itse järjestelmä on teknisesti monimutkaisempi sisältäen enemmän komponentteja, kuten korkeapainepumppuyksikkö ja venttiilit jotka ohjaavat vesivirtaa.

Vesisumusammutusjärjestelmän valmistuksen, huollon ja käytön vaikutuksia ei ole perusteellisesti tutkittu ja niiden ympäristövaikutusten merkitys voi olla suurempi kuin pelkän vedenkäytön ja mahdollisten vesivahinkojen aiheuttamat vaikutukset. Tämän työn tarkoituksena on tutkia erilaisia elinkaarimenetelmiä järjestelmän ympäristövaikutusten arviointiin sekä tarkastella eri menetelmien soveltuvuutta vesisumusammutusjärjestelmään. Tutkimuksen perusteella valitaan parhaiten vesisumujärjestelmiin sopiva arviointimenetelmä. Erilaisia menetelmiä on paljon, joista tässä työssä tarkastellaan elinkaariarviointia (LCA), hiilijalanjälkimenetelmää, materiaalivirta-analyysia ja ympäristölaajennettua panos-tuotosmallia.

Tutkimuksen pohjana käytetään FINLCA-hankkeen tutkimustuloksia ja raportteja ja elinkaarimenetelmiin liittyviä standardeja sekä ohjeistuksia (esim. ISO 14040, 14044, 14067, PAS 2050).

Tarkastelun kohteena on järjestelmän jossa on 3000 sprinkleriä ja järjestelmään vaadittavat komponentit kuten pumput, putket ja venttiilit. Järjestelmän tarkempi kuvaus löytyy kohdasta Sopivan menetelmän käyttö.

Työn käytännön osuudessa tehdään esimerkki, jossa valittua menetelmää sovelletaan vesisumusammutusjärjestelmän arviointiin.

2 Järjestelmän esittely

2.1 Vesi sammutusvälineenä

Tulipalo on kemiallinen reaktio palavan aineen ja hapen välillä, jossa palon ylläpitämiseksi vaaditaan neljää peruselementtiä, palavaa materiaalia, riittävästi happea, sopivaa lämpötilaa ja keskeytymätöntä kemiallista ketjureaktiota. Palon sammuttamiseen vaaditaan yhden elementin poistamista yhtälöstä. Vain harvassa tapauksessa palavan materiaalin poistaminen on mahdollista, mutta muihin elementteihin voidaan vaikuttaa keinoilla, joilla paloa voidaan kontrolloida, tukahduttaa ja sammuttaa. Veden lisäksi palon hillitsemiseen voidaan käyttää mm. inerttiä kaasuyhdistettä, kuten Argonite tai Inergen (Rinne & Vaari 2005, 2), joka syrjäyttää hapen ympäristössä, tai kemikaalia kuten natriumkarbonaatti, NaHCO_3 , joka vaikuttaa palon lämpötilaan, hapen määrään ja kemialliseen reaktioon.

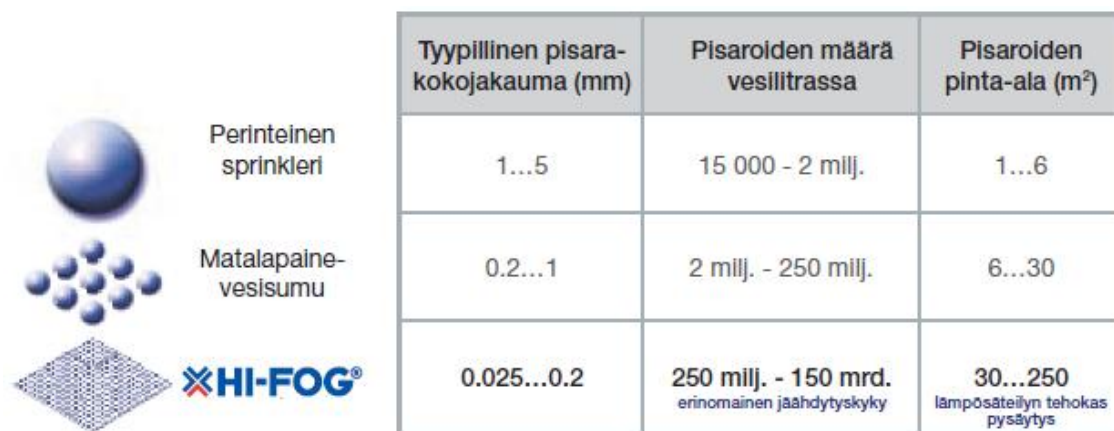
Vesi on vanhin ja maailmanlaajuisesti käytössä oleva, ympäristöystävällinen ja tehokas tulipalon sammutusväline. Vedellä on kolme pääasiallista mekanismia, joiden avulla se toimii tulipaloa vastaan:

1. kun vesi muuttuu vedestä höyryksi, se absorboi suuren määrän lämpöä
2. vesi laajenee 1700-kertaiseksi syrjäyttäen hapen
3. vesi kastelee

Veden haihtumisnopeus riippuu veden vapaasta pinta-alasta, ja esimerkiksi kattilassa oleva vesi haihtuu hitaammin kuin sama vesimäärä, joka on kaatunut lattialle ohueksi kerrokseksi isolle pinta-alalle. Ison haihtumispinta-alan takia vesisumu on tehokkaampi keino tulipaloa vastaan kuin pelkkä vesi. Mitä pienemmiksi pisaroiksi vesisumu saadaan, sen tehokkaammin se haihtuu eli imee lämpöä ja syrjäyttää happea. Lisäksi tiivis vesisumupilvi on tehokas eriste lämpösäteilyä vastaan.

Vesipisaran läpimitan pieneneminen kymmenesosaan lisää sumussa olevien pisaroiden määrän tuhatkertaiseksi, mikä johtaa suurempaan haihtumispinta-alaan, joka taas johtaa tehokkaampaan jäähtymiseen ja hapen syrjäytymiseen. Tästä johtuen vesisumujärjestelmällä saavutetaan samat tulokset huomattavasti vähemmällä veden käytöllä verrattuna perinteiseen sprinklerijärjestelmään. Vähäisempi vesimäärä ja järjestelmän

tehokkuus johtaa huomattavasti pienempiin vesi- ja palovahinkoihin palon ympäristössä, mikä osaltaan taas vähentää myös mahdollisia ympäristövaikutuksia. Kuvio 1 kuvaa pisaran koon vaikutusta pisaroiden määrään ja pinta-alaan.



Kuvio 1. Marioff Oy:n Hi-Fog systeemin pisarakoon vaikutus pisaroiden lukumäärään ja pinta-alaan (Marioff Corporation Oy. 2008).

2.2 Tarkasteltava systeemi ja sen toiminta

Käytännössä vesisumu saadaan aikaiseksi mäntäpumpun tai kaasusylinterien tuottaman paineen ja suuttimien avulla. Sähkö, kaasu tai dieselpumppu tuottaa maksimissaan 140 bar:in ja kaasusylinterit 200 bar:in paineen. Kun ympäristön lämpötila nousee tietyn rajan yli, suuttimissa olevat lämpöampullit laukeavat ja paine työntää veden ulos sumuna. Vesisumujärjestelmän lisäetu verrattuna perinteiseen järjestelmään on se, ettei suurempi määrä suuttimia laukea samaan aikaan, vaan tyypillisesti 1 - 3 suutinta laukeaa paikallisesti kastellen vain alueen, missä lämpöä on havaittu. Systeemin pumpuyksikkö osaa kierrättää ylimääräisen veden ja säättää paineen automaattisesti, jos vain muutama suutin on lauennut, täten estäen liian suuren paineen ja vesimäärän.

Vesisumujärjestelmän tehokkuus tulta vastaan määritellään kolmen ominaisuuden, vesipisaroiden koon, määrän ja läpäisykyvyn, mukaan. Vesisumun käyttökohteisiin on määritetty erilaisia testi- ja hyväksyntäkriteereitä, joiden perusteella tehdään täyden mittakaavan palokokeita. Toimintatehoa voidaan verrata mm. tuhojen vertailuun perinteistä sprinklerijärjestelmää vastaan, lämpötilan hallintaan suojattavassa tilassa, palavan kohteen palotehon alenemiseen tai palon sammuttamiseen. Testitulosten perusteella määritellään kohteeseen sopivat suutintyyppit, sekä asennusparametrit, kuten

suutinetäisyys ja vedentarve per kuutio- ja neliömetri. Toisin kuin perinteisen sprinkleri-järjestelmän, vesisumujärjestelmän ensisijainen tavoite ei ole kastella, ja täten vahingoittaa liialla vedellä palon ympäristöä, vaan ehkäistä ja kontrolloida tulipalon etene- mistä edellä mainituin perustein.

Kohteen tilan luokittelu on tärkeä ja ensimmäinen vaihe sopivan järjestelmän valinnas- sa. Palotestien avulla saadaan pohja, minkä perusteella valitaan kuhunkin tilaan parhai- ten sopiva järjestelmä. Esim. kohteessa, jossa on mahdollisuus polttoaineen sytty- seen, käytetään yleensä järjestelmää, jossa on avoimet suuttimet ja venttiili ohjaa ve- den virtausta.

Järjestelmä, jonka perusteella tutkimusmenetelmiä tarkastellaan, on kiinteistö jossa on 3000 sprinkleriä. Sprinklerien lisäksi järjestelmään kuuluu pumppu, putkistot, venttiilit ja asennukseen tarvittavat osat. Liitteessä 1 on listattuna Marioff Oy:n n. 800 sprinkle- rin järjestelmän asentamiseen vaadittavat komponentit. Näiden tietojen perusteella työn sovellusosassa lasketaan oikeat komponenttimäärät 3000 sprinklerin järjestelmäl- le.

3 Tutkintamenetelmien esittely

3.1 Elinkaaren määrittäminen

Suomessakin on herätty elinkaariajattelun tarjoamiin etuihin ja mahdollisuuksiin, ja mm. Suomen Ympäristökeskuksen FINLCA ja Tekesin Toiminnalliset Materiaalit-ohjelmat pyrkivät edistämään elinkaariajattelua ja sen käyttöä yrityksen toiminnan apuna. Elinkaariajattelun avulla voidaan tarkastella yrityksen toimintaa, tuotoksia ja palveluita laajalla skaalalla ja se voi tarjota yllättäviäkin tuloksia ja mahdollisuuksia ratkaisuihin kohti säästöjä ja eettisempää sekä ympäristöystävällisempää toimintaa.

Erilaisia elinkaarimenetelmiä on kehitelty jo 1990-luvun alusta, mutta 2000-luvulla lisääntynyt ympäristötietoisuus on nostanut yrityksille esitettäviä vaatimuksia, minkä seurauksena monet isot yritykset ovat ottaneet elinkaariajattelun osaksi strategiaansa. Esimerkiksi Wärtsilä ja Rautaruukki Oyj ovat jo vuosia laskeneet ympäristövaikutuksia. Tutkimuksissa ei tulisi rajoittua pelkästään valmistuksen aiheuttamiin vaikutuksiin, vaan niissä tulisi ottaa huomioon koko elinkaari ns. kehdosta hautaan. Esimerkiksi Outokummun Duplex-teräksestä tehty säiliöauton tankki aiheuttaa valmistuksen aikana isomman hiilijalanjäljen, mutta kevyemmän rakenteensa ansiosta sekä viiden vuoden elinkaarta tarkasteltaessa se saavuttaa 50 000 euron polttoainesäästöt sekä 8 % pienemmän kokonaishiilijalanjäljen. Tässä tapauksessa valmistuksen aiheuttama kuormitus luonnolle on vain murto-osa tuotteen elinkaaren aiheuttamasta kuormituksesta. (Semkina 2012.)

Tuotteen tai palvelun ympäristötarkastelun avuksi kehitetyt ja tässä työssä tarkasteltavat menetelmät perustuvat pitkälti elinkaaren eri vaiheiden panoksien ja tuotosten tarkasteluun. Elinkaari voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen:

- tuotantoon (raaka-aineen ottaminen luonnosta, väli- ja lopputuotteiden tuottaminen, kuljetus ja myynti)
- käyttöön (käytöstä aiheutuvat panokset, tuotokset, kuljetukset ja korjaukset)
- kierrätykseen ja jätehuoltoon

Tuotannosta kierrätykseen ja jätehuoltoon yltävää tarkastelua kutsutaan "gradle to grave" -, ja tuotannosta käyttöön "gradle to gate"-termeillä.

Elinkaaren tarkasteluun perustuvia menetelmiä on monia ja niiden käyttötarkoitus ja tulosten kattavuus voi olla hyvin erilainen ja sen takia myös eriarvoisessa asemassa päätöksenteon luotettavuuden kannalta.

ISO 14040-standardin mukaan elinkaariarviointiselvitys ja käytännössä myös muut menetelmät sisältävät neljä vaihetta:

- tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyvaihe
- inventaarioanalyysivaihe (LCI)
- vaikutusarviointivaihe (LCIA)
- tulkintavaihe

Jokainen vaihe tulee toteuttaa niin, että se on iteratiivinen, eli kaksivaiheinen, prosessi, siten että on mahdollista palata aiempaan vaiheeseen tarkistamaan sen lähtökohtia ja määritelmiä. Nämä neljä vaihetta voidaan jakaa tarkempiin vaiheisiin tarpeen vaatiessa. Esimerkiksi Wuppertal-instituutin tekemän tutkimuksen (Ritthoff ym. 2004) perusteella materiaaalivirtojen arviointiin käytetyn MIPS-menetelmän (Material Input Per Service), tulisi sisältää seitsemän vaihetta. Koska eri vaiheet liittyvät olennaisesti ISO 14040-standardiin, joka koskee elinkaariarviointiselvitystä, niistä kerrotaan seuraavassa kappaleessa enemmän.

3.2 Life Cycle Assessment (LCA)

Menetelmistä LCA eli elinkaariarviointiselvitys on näistä laajin ja tieteellisin, ja sen tarkoituksena on tarkastella kaikkia järjestelmän tai tuotteen koko elinkaaren aikana syntyviä ympäristönäkökohtia ja vaikutuksia, mutta siinä ei oteta huomioon taloudellisia tai yhteiskunnallisia näkökohtia. Sen avulla voidaan tunnistaa, ja ehkä jopa välttää mahdollisten ympäristökuormien siirtymistä eri vaiheiden tai yksittäisten prosessien välillä. (ISO 14040.) Laajempaa LCA-arviointia tehtäessä, muilla menetelmillä voidaan saada

sitä tarkentavia tuloksia, mm. edellä mainittuihin näkökohtiin, riippuen tarkasteltavasta tuotteesta tai systeemistä, määritelmistä, rajauksista ja tavoitteista.

Elinkaariarviointi on rakennettu tietyn toiminnallisen yksikön ympärille, ja se on suhteellinen menetelmä. Kaikki inventaarioanalyysiin liittyvät panos, syöte ja tuotosvirrat perustuvat tiettyyn systeemiin/yksikköön, ja kaikki tulevat analyysit ovat siis suhteessa aiemmin saatuihin tuloksiin (ISO 14040).

Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely määrää pitkälti tutkimuksen luonteen, eli sen, kuinka laaja ja yksityiskohtainen se on, ja mitä ajanjaksoa se tarkastelee. Rajauksien tulee olla asetettu niin, että lopulliset tulokset voidaan katsoa luotettaviksi ja tavoitteiden saavuttaminen on mahdollista. Lähtötietojen laadun tunnistaminen on erittäin tärkeää lopputulosten luotettavuuden ja oikean tulkinnan kannalta. Rajoja asetettaessa huomioon otettavia seikkoja ovat, mm. raaka-aineiden hankinta, tuotteen valmistusprosessin syötteet ja tuotokset, jakelu ja kuljetus, sekä tukitoiminnot, kuten valaistus ja lämmitys. Mutta, jos on tunnistettavissa lopullisten päätöksien kannalta merkityksettömiä syötteitä tai tuotoksia, kannattaa ne jättää huomioimatta.

Inventaarioanalyysivaiheessa kerätään tarkasteltavaa järjestelmää koskeva oleellinen, rajausten ja määritysten mukaan tarvittava tieto, jotta syötteet, panokset ja tuotokset saadaan esitettyä määrällisessä muodossa.

Vaikutusarviointivaiheessa arvioidaan potentiaalisia ympäristövaikutuksia inventaarioanalyysin tulosten perusteella, jolloin saadut tulokset ja tiedot sijoitetaan erilaisiin vaikutusluokkiin ja karakterisoidaan, eli lasketaan indikaattoritulos, jonka perusteella saadaan tietoa eri panoksiin, syötteisiin ja tuotoksiin liittyvistä ympäristökysymyksistä. Esim. ilmastonmuutosta aiheuttavat päästöt muutetaan CO₂-ekvivalentiksi. Vaikutusluokat on pyritty vakiinnuttamaan ja Euroopan komission ILCD-käsikirjassa määriteltyjä yleisiä vaikutusluokkia ovat (European Commission 2010).

- ilmastonmuutos
- otsonikato
- happamoituminen
- rehevöityminen
- pienhiukkasten aiheuttamat hengitysvaikeudet
- fotokemiallisen otsonin muodostuminen
- maan käyttö
- luonnonvarojen ehtyminen
- ionisoiva säteily
- ekotoksisuus
- toksisuus ihmiselle.

Karakterisoinnin avulla saatujen indikaattoritulosten vaihtoehtojen paremmuusjärjestys ei ole aina selvä. Ympäristövaikutusten kannalta parhaan vaihtoehdon selvittämiseksi indikaattorituloksia voidaan muuntaa normalisoimalla tai painotusta käyttämällä. Normalisointitekijäksi voidaan ottaa vaikka Suomen päästöt tai koko maailman päästöt. Painotusta käytetään antamaan eri vaikutusluokille tärkeys toisiinsa nähden. Näin saadaan helpommin selville parhaat vaihtoehdot, mutta painotusta käyttämällä saadaan aina subjektiivinen tulos, koska eri arvoille annetaan määritelty painoarvo. Summaamalla kaikki karakterisoinnin avulla lasketut päästöt yhteen saadaan tiettyyn vaikutusluokkaan vaikuttavat tekijät esitettyä yhdellä numeroarvolla. ISO-14044 standardissa annetaan ohjeita ympäristövaikutusten laskemiseen ja painotettujen arvojen käyttöön ja esittämiseen. Jos tutkimusta käytetään julkisissa vertailuissa, painotusta ei saa käyttää.

Ympäristövaikutus riippuu päästön määrästä ja laadusta, ympäristöstä johon se vaikuttaa, sekä päästönlähteestä. Perinteisesti elinkaariarviointi ottaa huomioon vain päästölähteen ja päästöaineen, ja globaaleissa vaikutusluokissa, kuten ilmastonmuutoksessa se ei ole ongelma. Päästöympäristöllä voi olla hyvin suuri vaikutus kokonaisympäristövaikutuksille, ja jos tutkimuksen perusteella tehdään toimintaan liittyviä päätöksiä, tulisi

sen taustalla olla todellista alueellista näkökulmaa. Paikallisten karakterisointikertoimien parissa työskentelee monia tutkimusryhmiä, ja myös Suomessa on kehitetty kertoimia mm. rehevöitymiselle ja happamoitumiselle. Lisäksi huomioon täytyy ottaa myös ajan myötä muuttuva ympäristö, koska esim. ilmastonmuutokseen vaikuttavien kaasujen ominaislämmitysvaikutus ja elinikä ilmakehässä vaihtelevat suuresti. (FINLCA 2010.)

Erilaisia vaikutusarviointimenetelmiä on kehitelty 1990-luvulta saakka, mutta eri menetelmien eroavaisuudet voivat johtaa suuriinkin eroihin lopullisissa tuloksissa. The United Nations Environment Programme (UNEP) on kerännyt tietoa elinkaariarvioinnin avuksi tehdyistä menetelmistä ja hyvistä käytännöistä. Käytännössä eri menetelmät voidaan jakaa viiteen kategoriaan mallinnustavan tai tarkoituksen mukaisesti (FINLCA 2010):

- keskipistemallinnus
- loppupistemallinnus
- keskipiste- ja loppupistemallinnuksen yhdistelmä
- etäisyyden arvioiminen tavoitteista
- energiaa käyttävien tuotteiden evaluointi

Keskipistemallinnuksen avulla tarkastellaan alkutilanteen ja lopputilanteen välissä olevia vaikutusluokkia, kuten ilmastonmuutos tai happamoituminen, ja loppupistemallinnuksessa vaikutuksia tarkastellaan yleensä kolmen tai neljän kohteen, kuten luonnonvarojen ja ihmisten terveyden kannalta. Loppupistemallinnuksen kohdalla puhutaan vahingoista ja keskipistemallinnuksessa vaikutusluokka-indikaattorituloksista. (FINLCA 2010.)

Erilaisia menetelmiä on taulukoituna Suomen Ympäristökeskuksen FINLCA-ohjelman raportissa Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet (FINLCA 2010).

Tulkintavaiheessa tulokset yksilöidään, määritellään, arvioidaan, tarkistetaan ja esitetään rajausten ja määritelmien luonteen mukaisesti (ISO 14040). Tulkintavaihetta tukemaan voidaan tehdä epävarmuus- ja herkkyysanalyysit. Jos tuloksia halutaan esittää julkisesti, niihin pitää soveltaa erityisiä vaatimuksia, joita on määritelty ISO/TS 14048-standardissa.

Elinkaariarviointiin on kehittynyt kaksi pääasiallista lähestymistapaa, haitanjaollinen ja seurausvaikutuksellinen. ILCD-käsikirja käsittelee kumpaakin lähestymistapaa laajasti.

Haitanjaolisessa lähestymistavassa perusvirrat ja mahdolliset ympäristövaikutukset liitetään järjestelmään sen historian kuvauksena. Panokset ja tuotokset kohdennetaan (allokoidaan) eri tuotteille ja kriittisiksi kohdiksi muodostuu, miten tutkittava järjestelmä rajataan ja mitä allokointimenetelmää käytetään. Rajausten ulkopuolelle ovat perinteisesti jääneet pienemmät virrat, kuten palvelut ja infrastruktuuri, ja huomioon otetaan vain itse järjestelmän elinkaareen oleellisesti liittyvät virrat. Haitanjaollinen lähestymistapa kuvaa staattista tilaa, eikä se sovi muutosten mallintamiseen. (FINLCA 2010.)

Seurausvaikutuselinkaariarvioinnin avulla voidaan tarkastella tulevien muutosten aiheuttamia seurauksia ympäristölle. Seurausvaikutuslähestymistapa huomioi ne järjestelmään liittyvät prosessit, jotka muuttuvat päätöksen tai vaikka tuotteen kysynnän muuttuessa, eli pyrkii mallintamaan tuoteketjujen väliset muutokset ja eri toimenpiteiden vaikutukset prosesseille ja ympäristölle. (FINLCA 2010.)

Allokointi, eli metodi jolla prosessissa esiintyvät kuormitukset jaetaan prosessin synnyttämien ja vaatimien toimintojen ja tuotteiden kesken, on yksi elinkaariarvioinnin puhutuimmista kysymyksistä, eikä sille ole löydetty kaiken kattavaa ja yleistä ratkaisua. ISO 14044 suosittelee käyttämään kolmivaiheista menettelyä allokointiin liittyvissä ongelmissa:

- Vältetään allokointi jakamalla prosessi kahteen tai useampaan alaprosessiin ja keräämällä näihin liittyvät syöte- ja tuotostiedot tai laajentamalla järjestelmää niin, että se kattaa myös rinnakkaistuotteisiin liittyvät lisätoiminnot
- Jos allokointia ei voi välttää, järjestelmän syötöt ja tuotokset tulee jakaa tuotteille ja toiminnoille tavalla, joka kuvaa niiden välillä vallitsevia fysikaalisia suhteita.
- Jos allokointi ei onnistu fysikaalisten suhteiden perusteella, syötteet tulisi allokoida käyttäen muita niiden välisiä suhteita, kuten taloudellinen arvo.

Joskus kannattaa käyttää yksinkertaistettua elinkaariarviointia (streamlined Life Cycle Assessment). Se on kevyempi versio LCA:sta ja siitä voi mm. jättää pois tiettyjä prosesseja, käyttää korvaavaa tietoa, vähentää tutkittavia prosesseja, panoksia, tuotoksia ja ympäristövaikutuksia, sekä kaventaa rajoja ja määritelmiä, jotta haluttuihin tuloksiin päästään vähemmällä työllä.

3.3 Hiilijalanjälki

Kioto kokouksen pöytäkirja koskee kuutta yleisintä kasvihuonekaasua hiilidioksidi CO_2 , metaani CH_4 , dityppioksidi N_2O , fluorihilivety HFC, perfluorihilivety PFC ja rikkiheksfluoridi SF_6 . Kioto pöytäkirja velvoittaa vähentämään kuuden edellä mainitun kasvihuonekaasun päästöjä (Meiseri 2010, 6). Kasvihuoneilmiöön vaikuttaa kuitenkin suuri määrä muitakin aineita, ja monille niistä on laskettu Global Warming Potentialkerroin (GWP), mikä kertoo aineen vaikutuksen kasvihuoneilmiöön, hiilidioksidiin verrattuna. Ilmakehään vapautuvan aineen massa kerrotaan sitä vastaavalla GWP-kertoimella. Kertoimia löytyy mm. YK:n Framework Convention on Climate Change-internet-sivustolta (UNFCCC, 2012).

Hiilijalanjäljelle ei ole selkeää yleistä määritelmää, ja eri julkaisuissa on hieman toisistaan eroavia kuvauksia, ja termin alkuperäinen tarkoitus, olla osa ekologista jalanjälkeä, on hieman muuttunut. Alun perin se tarkoitti metsäpinta-alaa, joka vaadittiin tietyn hiilidioksidimäärän sitomiseksi, mutta esimerkiksi ISO 14067-standardin mukaan järjestelmän hiilijalanjälki on sen kasvihuonekaasujen päästöjen ja poistojen summa, ja se ilmaistaan CO_2 -ekvivalenttina (Draft international standard 2011, 1). CO_2 ekvivalentti tarkoittaa kaikkien ilmastoon vaikuttavien aineiden summaa, joka saadaan GWP kerrointen avulla. Hiilijalanjäljen laskeminen perustuu LCA-menetelmiin ja ekologiseen jalanjälkeen, mutta on kuitenkin näistä erillinen mittari.

Ihmiskunnan hiilijalanjälki on kasvanut 11-kertaiseksi vuodesta 1961 ja on 54 % ihmiskunnan ekologisesta jalanjäljestä (Global Footprint Network 2011). Ihmisten ympäristötietoisuuden lisääntyessä, kasvihuoneilmiön tiedostaminen on noussut tärkeäksi, ja hiilijalanjälki tarjoaa helposti ymmärrettävän mittarin kasvihuoneilmiöön vaikuttavien päästöjen määrästä, sekä auttaa tunnistamaan ongelmakohtia ja kehittämään prosesseista ja tuotteista ympäristöystävällisempiä.

Uusia menetelmiä ja ohjeistuksia hiilijalanjäljen laskemiseksi kehitetään koko ajan, mutta eri menetelmien ja laskureiden avulla saadut tulokset voivat erota toisistaan hyvinkin paljon. Kennyn ja Grayn tekemän, kuutta eri laskentamenetelmää koskevan vertailun perusteella kolmen henkilön kotitalouden vuotuinen hiilidioksidimäärä vaihteli 12 053 - 27 218 kg:n välillä. Tuloksista voidaan päätellä että hiilijalanjäljen laskeminen antaa vain raa'an arvion todellisista päästöistä. Manchesterin yliopiston maksuton CCalc-laskuri löytyy osoitteesta www.ccalc.org.uk.

Eri menetelmien tulosten suurten erojen johdosta Iso-Britannian standardiviranomainen (BSI) ja Carbon Trust julkaisivat vuonna 2008 PAS 2050:2008 ja sen käyttöä opastavan Guide to PAS 2050:2008 dokumentit. Vuonna 2011 dokumenttia päivitettiin ja tässä työssä siihen viitataan nimellä PAS 2050:2011. Vaikka PAS 2050:2011 ei ole virallinen standardi, se pohjautuu elinkaariarviointiin ja siihen liittyviin standardeihin (ISO 14040, ISO 14044, ISO 14021, ISO/IEC 17050-1) sekä EU:n ILCD-työryhmän (The International Reference Life Cycle Data System) elinkaariarvioinnin sovellustutkimuksen tuloksiin (FINLCA 2010, 63). PAS 2050:2011-dokumentin tarkemmat rajaukset siitä, mitä hiilijalanjäljen tulisi sisältää, kaventaa eri hiilijalanjälkimenetelmien ja kattavampien elinkaariarviointien eroa. Joissain asioissa ja määritelmissä PAS 2050:2011 on jopa tiukempi kuin standardit.

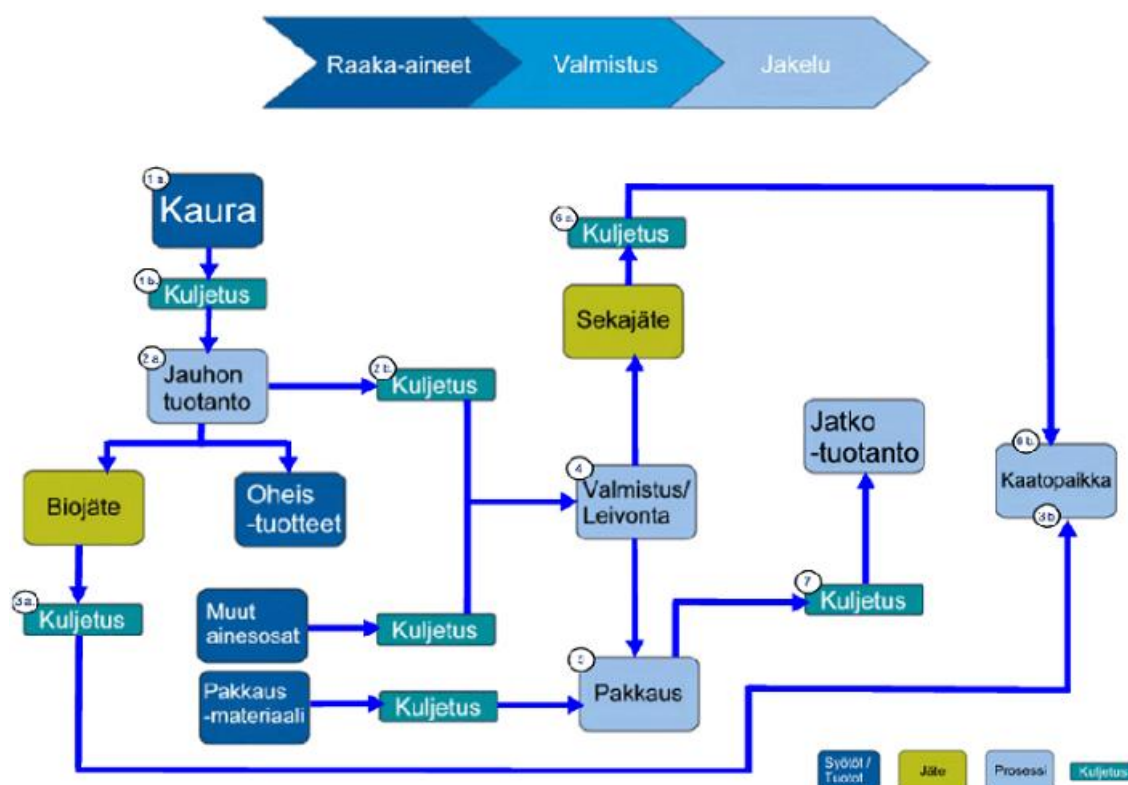
Hiilijalanjäljen laajuuden määrittelevät tarkasteltavaksi rajatut elinkaarenvaiheet ja panosten ja tuotosten määrä. Tietyille tuotteille on olemassa tuoteryhmäkohtaisia ohjeita (PCR, Product Category Rules), joiden mukaan rajaukset tulee tehdä (Meiseri 2010, 19). Rajat tulee määrittää selkeästi, jos tuotteelle ei löydy ryhmäkohtaisia ohjeita (British Standards Institution 2011).

Käytännön laskenta alkaa tuotteen tai palvelun valinnalla. Lisäksi pitää määritellä helposti ymmärrettävä toiminnallinen yksikkö eli kuinka moni tuotetta tai palvelua käyttää tai kuinka paljon tietyn ainemäärän tai palvelun tuottaminen aiheuttaa päästöjä, esim. per tonni terästä tai tietyn lentomatkan päästöt per matkustaja.

Laskennan tulisi kattaa kaikkien rajausten sisällä olevien vaiheiden, prosessien, panosten ja tuotosten päästöt ja mahdolliset päästöjen sitoutumisesta tai esim. kierrätyksestä, seuraavat päästöjen vähenemiset. Prosesseihin tulee siis myös kaikki energian käyttö, kuten kaasun ja hiilen poltto, lämmön ja sähkön tuotto, sekä polttoaineen kuljetuk-

sen aiheuttamat päästöt. Huomioon tulee siis myös ottaa se, miten energia on tuotettu, ei vain sen määrä. PAS 2050:2011 ja Guide To PAS 2050:2011 dokumentit määrittelevät eri prosessien ja vaiheiden kohdalla huomioon otettavia seikkoja tarkemmin.

Kaikki laskentaan sisältyvät prosessit, vaiheet, tuotokset, ym. tulisi koota yhteen ns. flow charteiksi eli virtauskaavioiksi. Kuvio 2 kuvaa kauraleivän tekemiseen tarvittavia prosesseja, mutta jokainen prosessi pitää vielä jakaa pienempiin osiin niin, että jokainen päästöä aiheuttava tai sitova prosessi saadaan mukaan laskuihin. Flow chartien tekeminen helpottaa laskentaa.



Kuvio 2. Kauraleivän kuvitteellinen flow chart esimerkki (Meiseri 2010).

3.4 Ympäristölaajennettu panos-tuotosmalli

Kun elinkaariarvioinnin kohteena olevan systeemin rajoituksia määritellään, ne ovat aina subjektiivisia valintoja, eivätkä ne aina perustu tieteellisiin faktoihin. Resurssien ja ajan säästämiseksi pienen massa- tai energiasisällön, tai oletetusti pienen ympäristövaikutuksen omaavat panokset tai tuotokset voivat jäädä huomioimatta. Myös aineettomat palvelut voivat jäädä rajoituksen ulkopuolelle, koska painopiste on materiaali- ja ener-

giavirroissa. (FINLCA 2010.) Useimmilla vaikutusluokilla lopputulokseen vaikuttavat rajausvirheet ovat tyypillisesti 20 %:n luokkaa, mutta tapauskohtaisesti vaikutus voi olla huomattavasti suurempikin (Suh ym. 2003).

Rajauksen määrittämisen ongelma on siinä, ettei panoksen tai tuotoksen merkittävyyttä voi tietää ennen kuin sen on arvioinut. Kattavassa elinkaariarvioinnissa jokaisen panos- ja tuotosvirran arviointi on mahdotonta, joten ratkaisuksi ongelmiin on kehitetty panos-tuotosmenetelmiä. Panos-tuotosmenetelmät soveltuvat prosessipohjaisten mallien analysointiin ja niillä on kaksi käyttötapaa. Niitä voidaan käyttää elinkaariarvioinnin sijaan tai elinkaariarvioinnin aukkojen täydentämiseen. (FINLCA 2010.)

Panos-tuotosmallin on alun perin kehittänyt kansantalouden rakenteelliseen tutkimukseen Wassily Leontief 1950-luvulla. Nykyään se on osa kansantalouden tilinpitoa, ja kansalliset tilastokeskukset kokoavat ja ylläpitävät aineistoa. Panos-tuotosmalli kuvaa kansantaloudellisten sektoreiden välistä vuorovaikutusta ostojen ja myyntien avulla, ja niiden avulla voidaan laskea, kuinka paljon tietyn alan toimija vaatii toisten alojen tuotoksia tietyn tuotteen tai palvelun toimittamiseksi kuluttajalle. Kysymyksenasettelu muistuttaa paljon elinkaariarviointia, mutta panos-tuotosmalli mittaa virtoja rahayksiköissä esim. massan ja energian sijaan. (FINLCA 2010.)

Mallin käyttäminen elinkaariarvioinnissa edellyttää sitä, että rahamittaisten tilien lisäksi laskelmiin lisätään ympäristötilejä, kuten päästöt ja luonnonvarojen käyttö. Erilaisia tietokantoja kuten EXIOPOL-projektin EXIOBASE on jo kehitetty, ja niiden tavoitteena on saada laajaa tietoa, mitä tietyn tuotteen tai palvelun tuottaminen vaatii. EXIOBASE-tietokanta sisältää panos-tuotostauluja Euroopan maille ja Euroopan tärkeimmille kauppakumppaneille. (FINLCA 2010.) Lisää taulukoita mm. USA:lle ja Kiinalle löytyy EIO-LCA-työkalun Internet-sivuilta, www.eiolca.net. EIO-LCA-sivuston helppokäyttöisen käyttöliittymän avulla saa nopeasti esiin taulukoita eri sektoreille.

Ympäristölaajennettu panos-tuotosmalli voi olla huomattavasti kattavampi kuin prosessikohtainen elinkaariarviointi, mutta siihen liittyy paljon epävarmuus- ja virhelähteitä. Esimerkiksi tieto on usein vanhaa kuvaten keskimääräistä tuotantoteknologiaa, ja siitä johtuen päästöintensiteettiä yliarvioidaan. Lisäksi mm. tuotteiden hinnat vaikuttavat tuloksiin, jolloin panos-tuotostaulujen tasapainotus aiheuttaa virheitä kansantaloudelli-

sesti merkityksettömiin, mutta kyseiseen elinkaariarviointiin merkittävästi vaikuttaviin toimialoihin. (FINLCA 2010.)

3.5 Materiaalivirta-analyysi

Materiaalivirta-analyysin avulla voidaan tutkia tarkasteltavan järjestelmän käyttämiä luonnonvaroja. Mukaan tarkasteluun täytyy ottaa myös sivutuotteet ja jätteet. Siis toisin kuin esim. hiilijalanjälki, materiaalivirta-analyysi keskittyy päästöjen sijaan vain kokonaismateriaalinkulutukseen (Total Material Requirement, TMR). TMR-indikaattorin avulla pyritään ennakoimaan järjestelmän aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Materiaalinkulutus voidaan jakaa järjestelmän/tuotteen käyttökerroilla, jos halutaan selvittää järjestelmän/tuotteen ekologinen selkäreppu (Material Input per Service Unit, MIPS).

Suomessa MIPS:n avulla on tutkittu ja vertailtu mm. bussien ja henkilöautojen selkäreppuja, ja FIN-MIPS Kotitalous - hankkeen kautta mm. harrastusten, matkailun ja elintarvikkeiden selkäreppuihin liittyviä seikkoja (SLL 2009).

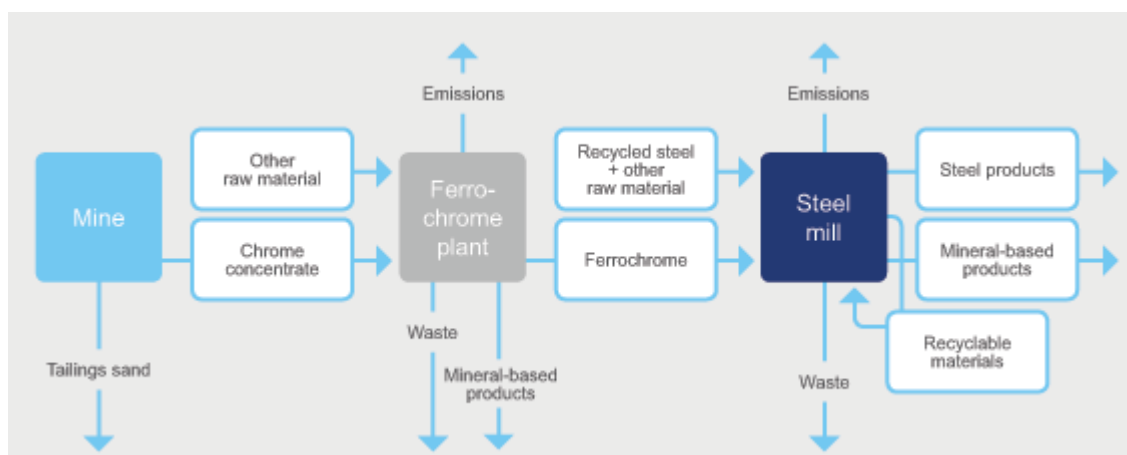
Erilaiset materiaalivirrat on luokiteltu viiteen luokkaan abioottisiksi, biottisiksi, maamassoiksi, vedeksi ja ilmaksi (Ritthoff ym. 2004). Taulukkoon 1 on listattu mitä kaikkea luokkiin sisätty. Saksalainen Wuppertal-instituutti ylläpitää listaa materiaali-intensiteetikertoimista (MIT tai MI-kerroin) joihin laskenta yleensä perustuu. MI-kerroin kertoo, kuinka monta kiloa tarvitaan luonnonvaroja yhden raaka-ainekilon tuottamiseen. Kertoimia on laskettu myös panoksille, joilla ei ole painoa, esim. sähkö tai kuljetus. Yksikkönä voi olla esim. kg/kWh tai kg/tkm. Listoilta löytyy mm. metalleja, kemikaaleja, rakennusaineita ja liikennemuotoja. Kertoimia voidaan käyttää aina, kun systeemin laskuissa esiintyy yleinen aine (teräs, alumiini tai lasi) tai painoton panos (sähkö tai kuljetus). Kerrointa valittaessa on kuitenkin otettava huomioon millä prosessilla panos tai aine on tuotettu. Wuppertal-instituutin sivuilta, www.mips-online.info, löytyy säännöllisesti päivitettävä lista MI-kertoimista.

Taulukko 1. Materiaalivirtojen luokittelu

| Abioottiset raaka-aineet | Bioottiset raaka-aineet | Maamassat | Vesi | Ilma |
|---|--|--|---|---|
| mineraalit (malmi, hiekka, graniitti) fossiiliset polttoaineet (hiili, öljy) käyttämättä jääneet kaivannaiset (ylijäämämaa, sivukivi) siirretty maa (sedimentti, kaivettu maa) | viljelty biomassassa biomassassa viljelemättömiltä alueilta (kasvit, eläimet ym.) | eroosio mekaaninen maan siirtäminen | pintavesi pohjavesi porakaivovesi | palamisprosessiin käytetty kemiallisesti muutettu fysikaalisesti muutettu |

Wuppertal-instituutin tekemän tutkimuksen perusteella käytännön MIPS-laskenta voidaan jakaa seitsemään osaan: tavoitteen, kohteiden ja palvelusuoritteen määrittäminen, prosessin kuvaaminen, tietojen kerääminen, materiaalipanoksen laskenta "kehdestä tuotteeseen", materiaalipanoksen laskenta "kehdestä hautaan" ja tulosten tulkin-
ta (Ritthoff, ym. 2004.)

Kuvio 3 esittelee Outokummun terästehtaan materiaalivirtaa. Kuvio on yksinkertaistettu esimerkki, jossa kuvataan pääraaka-aineiden liikkumista ja prosesseja, joissa niitä käsitellään eikä siinä selvitetä prosessien sisällä tapahtuvia virtoja ja prosesseja tarkemmin.



Kuvio 3. Outokumpun materiaalivirta Kemi-Tornion alueella (Bates 2012).

3.6 Elinkaarimenetelmien epävarmuus- ja virhetekijät

Epävarmuus voidaan käsittää monella eri tavalla, mutta ennen kaikkea sillä tarkoitetaan puuttuvaa tietoa. Vaihtelun ja epävarmuuden voi kuitenkin erottaa eri käsitteiksi. Vaihtelu kuvaa sitä, että tiedoissa esiintyy hajontaa, ja että keskiarvo ei kuvaa tilannetta oikein. (FINLCA 2010.)

Eri elinkaarimetodeilla saatavat tulokset ovat arvioita, ja ne kuvaavat aina vain potentiaalisia ympäristövaikutuksia, eivätkä kerro todellisista vaikutuksista mitään. Lisäksi erilaisia, tuloksiin vaikuttavia tekijöitä on monia.

Epävarmuudelle voidaan kuitenkin todeta kolme pääasiallista lähdettä (Finnveden ym. 2009):

1. muuttujat/data, esim. epätäydellinen tai väärä tieto
2. valinnat, esim. rajausten tai allokoinnin määrittely
3. suhteellisuus, esim. rikkidioksidipäästöjen vaikutus happamoitumiseen

Iso 14044-standardi tarkastelee epävarmuutta osana tulostenarviointia. Tietojen analysoimiseen on kolme erityistekniikkaa (ISO 14044):

1. painoarvoanalyysi
2. epävarmuusanalyysi
3. herkkyysanalyysi

Painoarvoanalyysi on tilastollinen metodi, jolla tunnistetaan tiedot, jotka vaikuttavat eniten tutkittaviin vaikutuksiin. Tunnistettuja tietoja voidaan täten tutkia tarkemmin ja niiden avulla päätyä järkeviin toimenpiteisiin ja päätöksiin.

Epävarmuusanalyysin avulla määritellään, miten tiedon ja oletusten epävarmuustekijät vaikuttavat laskentaan ja vaikutusarvioinnin luotettavuuteen.

Herkkyysanalyysin avulla voidaan määritellä, miten tietojen muutokset ja menetelmien valinnat vaikuttavat vaikutusarvioinnin tuloksiin. (ISO 14044.)

ISO 14044-standardin mukaan myös tulosten tulkinnassa ja tarkistuksessa tulisi ottaa huomioon kolme tekniikkaa:

1. täydellisyyden tarkistus
2. herkkyystarkistus
3. johdonmukaisuuden tarkistus

Täydellisyyden tarkistus varmistaa, että kaikki oleellinen tieto on saatavilla ja riittävää. Jos puutteita tai epätäydellisyyttä esiintyy, niin aiemmat vaiheet tulisi käydä uudestaan läpi, tai muuttaa tavoitteita tai soveltamisalaa. (ISO 14044.)

Herkkyystarkistuksen tarkoitus on selvittää tulosten ja päätelmien luotettavuus, määrittämällä miten mm. allokointimenetelmien tai lähtötietojen epävarmuustekijät vaikuttavat niihin. Tulosten herkkyysanalyysin tulisi sisältää ja ottaa huomioon aiempien vaiheiden (inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi) herkkyysanalyysin tulokset, jos ne on tehty. Herkkyystarkistuksen yksityiskohtaisuus määräytyy pitkälti inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin tulosten mukaan. (ISO 14044.)

Johdonmukaisuuden tarkistus määrittelee ovatko menetelmät, olettamukset ja tiedot yhdenmukaisia tavoitteiden ja soveltamisalan kanssa. Olennaisia kysymyksiä johdonmukaisuuden kannalta voivat olla mm. (ISO 14044):

- Onko vaikutusarvioinnin osia sovellettu johdonmukaisesti?
- Jos alueellisia tai ajallisia eroja on, onko niitä käsitelty johdonmukaisesti?

4 Sopivan menetelmän valitseminen

Kuten edelläkin on mainittu, on vesisumusammutusjärjestelmä monimutkainen kokonaisuus sisältäen satoja eri osia. Liitteessä 1 on listattuna n. 800 sprinklerin järjestelmään vaadittavaa osaa. Jokaisen osan huomioonottaminen ympäristövaikutuksia arvioitaessa, on erittäin työlästä, ja ehkä jopa mahdotonta. Lisäksi esim. pumpun ja venttiilin sisältämien pienempien osien ja kokonaisuuksien yksityiskohtainen selvitys on vieläkin vaikeampaa.

Vaikutusten kannalta pieneksi tai merkityksettömäksi arvioidut osat voidaan rajata tarkastelun ulkopuolelle. Ongelmana näiden rajausten kanssa on kuitenkin se, ettei arvioinnin lopputulosta voi pitää luotettavana. Lisäksi rajausten ulkopuolelle saattaa jäädä yllättävänkin suuria prosesseja ja panoksia, joiden suuruutta on vaikea arvioida ennen tutkimusta.

Lisäksi tutkimuksen tekemistä rajoittaa tiedon laatu ja määrä. Komponenteista ja niiden alkuperästä ja tuotantotavoista ei ole saatavilla tarpeeksi informaatiota. Erilaisten raaka-aineiden tuottamiseen vaadittavia panoksia on selvitetty mm. Wuppertal-instituutin toimesta, mutta kaikkien, lopputuotteen aikaansaamiseen vaadittavien, prosessien ja panoksien selvittämiseen vaadittavaa tietoa ei ole saatavilla. Arvioiden ja keskimääräisten arvojen avulla tehdyt laskelmat laskevat tutkimuksen luotettavuutta lisää.

Edellä mainituista syistä johtuen, perusteellisen elinkaaritutkimuksen ja erityisesti elinkaarianalyysin (LCA) tekeminen ei ole mahdollista. Ympäristölaajennetun panos-tuotosmallin avulla tehtävä analyysi perustuu taulukoituihin arvoihin, eikä niistä löydy liitteessä 1 listattuja ja spesifisti määriteltyjä tuotteita.

Marioff Oy:n Markku Vuorisalon mukaan vesisumusammutusjärjestelmän putkiston osuus koko järjestelmän massasta ja materiaa livirrasta asettuu 30 - 90 %:n välille. Mitä enemmän järjestelmässä on suuttimia, sitä suurempi osuus putkistolla on. Kun suuttimien määrä on useissa tuhansissa, voidaan putkiston osuuden katsoa olevan jopa 80 - 90 %:n välillä. Koska järjestelmän koko vaikuttaa oleellisesti putkiston osuuteen massavirrasta, tämän työn sovellusosassa tarkastellaan 3000 sprinklerin järjestelmää ja sen putkiston massavirtaa. Marioffin kokemukseen perustuva arvio on, että tämän kokoisen järjestelmän putkiston osuus kokonaismassavirrasta on 70 %:n luokkaa.

Putket on tehty ruostumattomasta teräksestä (AISI316) ja edellä mainituin perustein, sekä järjestelmän koosta riippuen, voidaan todeta, että putkiston materiaa livirtojen ja teräksen hiilijalanjäljen tarkastelulla voidaan saada kohtalaisen luotettavia tuloksia joistakin vesisumusammutusjärjestelmän ympäristönäkökohdista. Esim. Outokumpu ja Ruukki ovat jo vuosia laskeneet tuotteidensa hiilijalanjälkiä, ja näitä tietoja pystyy soveltamaan vesisumusammutusjärjestelmän teräsosiin.

5 Valitun menetelmän käyttö

Tarkasteluun otettavan, 3 000 sprinklerin systeemin, komponenttimäärät on laskettu liitteen 1 perusteella. Liitteessä olevat komponenttimäärät on suhteutettu 3 000 sprinklerin järjestelmään ja niiden massat on laskettu Marioff Oy:n tarjoaman tiedon perusteella. Tiedot on listattu taulukkoon 2.

5.1 Materiaa livirta-analyysi

Laskelmissa tarkasteltava järjestelmä sisältää kolme eri putkikokoa ja niiden asennuskomponentit. Kokonaismassaksi systeemin putkistolle saatiin n. 32 600 kg. Putkien osuus kokonaismassasta on n. 28 300 kg ja asennuskomponenttien n. 4 300 kg.

Taulukko 2. Tarkasteltavan järjestelmän komponenttimäärät.

| Komponentti | Määrä | Paino kg/yksikkö | Kokonaispaino |
|------------------|-----------|------------------|---------------|
| D12X1,2 Putki | 15 986 m | 0,322 | 5 174,6 kg |
| D12X2,5 Putki | 2 284 m | 1,71 | 3 905,2 kg |
| D38X3 Putki | 7 373 m | 2,61 | 19 244,2 kg |
| T-osa 12 mm | 1 373 kpl | 0,22 | 302 kg |
| T-osa 30 mm | 98 kpl | 1,4 | 136,5 kg |
| T-osa 38 mm | 480 kpl | 2,1 | 1 008 kg |
| Asennusosa 12 mm | 2 756 kpl | 0,14 | 385,9 kg |
| Asennusosa 30 mm | 394 kpl | 0,76 | 299,3 kg |
| Asennusosa 38 mm | 1 271 kpl | 1,17 | 1 487,4 kg |
| Jakoblokki 12 mm | 19 kpl | 0,5 | 9,5 kg |
| Jakoblokki 30 mm | 135 kpl | 1,15 | 156,6 kg |
| Jakoblokki 38 mm | 297 kpl | 1,6 | 475,2 kg |
| Koko järjestelmä | - | - | 32 557,2 kg |

Taulukossa 3 on esitetty Wuppertal-instituutin MIPS-taulukoihin perustuen, kuinka paljon luonnonvaroja tarvitaan tuottamaan yhden kilon, sekä koko putkiston massan verran ruostumatonta terästä. Tässä työssä tutkitun systeemin putkistomateriaali on Al-SI316, joka on ruostumatonta ja haponkestävää terästä, mutta Wuppertal-instituutin

taulukoissa ei ole erikseen haponkestävää terästä, joten taulukon 3 arvot tarjoavat karkean arvion haponkestävän teräksen ympäristörasituksesta. MIPS-taulukoissa ruostumattoman teräksen ei katsota käyttävän bioottisia materiaaleja, eikä aiheuttavan maan käyttöön liittyviä vaikutuksia, joten niitä ei oteta huomioon.

Ruostumaton teräs sisältää 17 % kromia ja 12 % nikkeliä.

Taulukko 3. Ruostumattoman teräksen luonnonvarojen kulutus MIPS menetelmään perustuen

| Ruostumaton teräs (17 % Cr, 12 % Ni) | Abioottiset materiaalit (kg) | Vesi (kg) | Ilma (kg) |
|--------------------------------------|------------------------------|---|-----------|
| kg/kg | 17,94 | 240,33 | 3,38 |
| Koko putkisto | 584 076 | 7 824 473 kg, l 7 824 m ³ | 110 043 |

Abioottisiin materiaaleihin kuuluvat mm. mineraalit, fossiiliset polttoaineet, käyttämättä jääneet kaivannaiset, siirretty maa. MIPS-taulukkojen arvot perustuvat keskiarvoihin ja mm. mineraalien louhimiseen käytettyjen koneiden, kuljetusten ja kokoonpanon aiheuttamien päästöjen todellista osuutta ja suuruutta on vaikea selvittää, mikä vaikuttaa tulosten luotettavuuteen. Lisäksi putkiston kuljetus, kokoaminen ja käyttöönotto ym. käyttöön liittyvät seikat jäävät tämän arvioinnin ulkopuolelle. Laskelmia voi verrata muiden sammutusjärjestelmien vastaaviin, jos haluaa käytännöllisempää tietoa eri järjestelmien materiaalivirtojen eroista.

5.2 Hiilijalanjälki

Outokummun Kestävä kehitys ja ympäristö -osaston varapääjohtajan, Tuomas Haikan mukaan teräksen valmistuksen aiheuttama, Euroopan keskiarvoinen hiilidioksidipäästö määrä on 3,441 t/t ruostumatonta terästä. Outokummun teräkselle vastaava arvo on 3,038 t/t ruostumatonta terästä.

Putkiston valmistuksen aiheuttamien päästöjen arviointi on vaikeampaa. Ovaskaisen ja Tonterin tutkimusraportin mukaan (2008, 10) teräksen koneistaminen tankiksi aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä 0,594 kg/kg terästä. Tuomas Haikan mukaan tämä arvo on kuitenkin hieman korkea ja hän arvioi että putkiston valmistuksen päästöt olisivat 0,1 - 0,15 kg/kg terästä välillä. Myös asennuskomponenttien massa otettiin mukaan valmistuksen aiheuttamia kokonaispäästöjä laskettaessa. Laskelmien tulokset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Teräksen ja putkiston valmistuksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt.

| Putkiston hiilidioksidi-päästöt | EU keskiarvo | Outokumpu |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|
| Teräksen valmistus | 3,441 kg/kg terästä | 3,038 kg/kg terästä |
| Putkiston valmistus min. | 0,1 kg/kg terästä | 0,1 kg/kg terästä |
| Putkiston valmistus max. | 0,15 kg/kg terästä | 0,15 kg/kg terästä |
| Yhteensä min. | 115 285,1 kg | 102 164,5 kg |
| Yhteensä max. | 116 912,9 kg | 103 792,4 kg |

Tuloksista huomataan, että oikean materiaalin valinnalla voidaan saavuttaa merkittäviä päästövähennyksiä. Putkiston valmistuksen päästöarvot ovat arvioita, mutta laskelmista nähdään että niiden osuus kokonaispäästöistä on pieni ja asettuu n. 2,8 - 4,7 % välille.

6 Päätelmät ja havainnot

Elinkaaritutkimukset ovat käytännössä aina vajaita ja epäluotettavia, koska tutkimukseen liittyvät rajaukset ja valinnat ovat aina subjektiivisia ja tutkimuksen tekijän tekemiä. Minkäänlaisia väitteitä, esimerkiksi tuotteen ympäristöystävällisyydestä verrattuna muihin tuotteisiin, ei vajaiden ja epäluotettavien tutkimusten perusteella saa tehdä. Erilaiset elinkaariselvitykset tarjoavat tutkimuksen tekijälle lähinnä mahdollisuuden tarkastella tuotteensa ympäristöasioihin liittyviä ongelmakohtia ja etsiä niille ratkaisuja.

Riippuen kuitenkin tuotteesta tai tarkasteltavasta järjestelmästä ja saatavan tiedon määrästä ja laadusta, elinkaariselvityksen avulla voidaan saavuttaa tarkkojakin ja käytännöllisiä tuloksia. Esimerkiksi eri elintarvikkeiden hiilijalanjäljen laskeminen on nykyään suosittua ja suhteellisen helppoa, jos raaka-aineiden, valmistusmenetelmien ja muiden prosessien ja panoksien toiminta tunnetaan, tai pystytään selvittämään. Tässäkin työssä käytettiin tietoa teräksen valmistuksen aiheuttamista päästöistä. Vaikka tämäkin tieto on tutkimuksen ja kokemuksen kautta saatua, ja se saattaa sisältää epävarmuutta, on se yleisesti hyväksyttyä ja sitä voidaan pitää luotettavana.

Vesisumusammutusjärjestelmän monimutkaisuus vaikeuttaa tiedon saamista ja täten myös analyysin tekemistä edelleen, mutta isompien järjestelmien suurempien ja yksinkertaisempien kokonaisuuksien, kuten sammutusjärjestelmän putkiston, arviointi voi olla suhteellisen helppoa. Putket ja asennuskomponentit ovat pitkälti samaa terästä ja teräsyhtiöt ovat ympäristötietoisien tuotannon ja ajattelun kärjessä, joten tiedon saaminen mm. hiilijalanjäljistä on vaivatonta.

Vesisumujärjestelmän putkiston valmistuksen aiheuttamaa hiilijalanjälkeä voidaan pitää suhteellisen luotettavana. Hiilijalanjälkilaskelmien perusteena käytetty tieto on saatu tutkimuksen ja tuotannon kehitystyön avulla. Asennuskomponenttien osuus putkistosta on 13 %:n luokkaa ja niiden valmistuksen aiheuttamat päästöt laskettiin putken valmistuksen arvioidun päästömäärän mukaan, mikä aiheuttaa pientä epävarmuutta todellisiin arvoihin. Luotettavia tuloksia koko systeemin ympäristövaikutuksista ei pelkän putkiston tarkastelulla saada. Perusteellisemman tutkimuksen pohjana ei ole tarpeeksi tietoa ja pelkän putkiston huomioon ottavan tutkimuksen ulkopuolelle saattaa jäädä merkittäviä päästöjä aiheuttavia panoksia.

Laajemman selvityksen tekeminen ei ole perusteltua, niin kauan kuin järjestelmän pienimpienkin osien alkuperä ja tuotantoon liittyvät tiedot eivät ole saatavilla. Selvitystä suunniteltaessa saatavilla oleva tieto tulee arvioida tarkasti, jotta voidaan päättää, onko haluttuihin tuloksiin johtavaan tutkimukseen edellytyksiä.

Tämän hetkiset elinkaarimenetelmiä käsittelevät standardit ja ohjeistukset antavat tutkimuksen tekijälle aika paljon tulkinnan varaa, ja niiden oikeanlainen käyttö vaatii yleensä asiantuntemusta ja kokemusta. Lisäksi tulevaisuus tuo mukanaan uusia haasteita ympäristöasioiden saralla, ja erilaisten elinkaarimenetelmien avuksi tulisi kehittää erilaisia helppokäyttöisiä ja maailmanlaajuisia työkaluja kuten esimerkiksi helposti ja säännöllisesti päivitettävä laskuri ja tietopankki, joka sisältäisi kaikenlaisten prosessien ja panosten ja tuotosten aiheuttamia päästöjä sekä tietoa erilaisista ympäristöasioista ja vaikutuksista. Tällaisten työkalujen avulla olisi helpompi tarkastella ja arvioida omien toimintojen ja tuotteiden ympäristövaikutuksia, ja löytää ongelmakohtia, ja ehkä myös ratkaisuja niihin. Ongelmakohtien tutkiminen ja ratkaiseminen saattaa tarjota yllättäviäkin mahdollisuuksia säästöihin ja ympäristöystävällisempään tuotteeseen.

Toimenpide-ehdotuksia yritykselle

Ympäristöystävällisempään toimintaan pyrkiminen on nykypäivänä monen yrityksen tavoitteena, ja keinoja kehitykselle on monia. Tämän työn perusteella, vesisumujärjestelmää tarkasteltaessa, tietoa ei ole tarpeeksi saatavilla ja jos yritys haluaa tehdä laajemman ja perusteellisen tutkimuksen, on sen kehitettävä luotettava alihankkijoiden verkosto, jonka avulla yritys saa tietoa käytetyistä materiaaleista ja prosesseista.

Jos laajemman selvityksen tekeminen, ja sitä kautta oman tuotteen ympäristövaikutusten arviointi ei ole perusteltua, voi käytännön toimenpiteisiin ryhtyminen olla mahdollista ilman laajoja tutkimuksiakin. Lähtökohdaksi tulisi ottaa ympäristöystävällisiksi tiedettyjen raaka-aineiden käyttäminen, prosessien optimointi ja uusien metodien omaksuminen osaksi oman tuotteen tuotantoa.

Tämän työn hiilijalanjälkilaskelmista voidaan nähdä, että oikean materiaalin valitsemisella voidaan tehdä merkittäviä päästövähennyksiä. Sillä voidaan päätyä lujempiin raaka-aineisiin ja kevyempiin rakenteisiin, ja sitä kautta mm. komponenttien kuljetuksen aiheuttamien päästöjen vähennyksiin. Lisää vähennyksiä saadaan huolehtimalla tuot-

teiden kierrätyksestä ja valitsemalla jo valmiiksi kierrätettyjä raaka-aineita. Kun kyseessä on globaalisti toimiva yritys, on järkevää käyttää paikallisia alihankkijoita tai järjestää komponenttien kuljetus suoraan asennuspaikalle.

7 Yhteenveto

Työn lähtökohtana on ollut väite siitä että vesisumusammutusjärjestelmä on ympäristöystävällisempi verrattuna esim. normaaliin vesisprinklerijärjestelmään. Työ aloitettiin tutkimalla erilaisia elinkaarimenetelmiä. Tässä työssä tarkasteluun otettiin hiilijalanjälkimenetelmä, materiaalivirta-analyysi, panos-tuotosmalli ja laaja elinkaariselvitys. Eri menetelmistä haettiin tietoa erinäisistä artikkeleista, tutkimusraporteista ja standardeista.

Seuraavaksi selvitettiin mikä olisi paras menetelmä vesisumusammutusjärjestelmän ympäristövaikutusten arvioimiseksi. Sopivimmiksi menetelmiksi valittiin hiilijalanjälki ja materiaalivirta-analyysi. Perusteena näille valinnoille on informaation laatu ja määrä, sekä tarkasteltava tuote.

Vesisumusammutusjärjestelmä on monimutkainen ja suuri järjestelmä, ja sen kaikkien osien alkuperän ja tuotantomenetelmien selvittäminen ei ole mahdollista. Siksi käytännön osuuden laskelmiin otettiin vain järjestelmän putkisto ja siihen kuuluvat asennuskomponentit. Kun järjestelmän sprinklerien määrä on tuhansissa, putkiston osuus sen massavirrasta on n. 70 - 90 %:n välillä. Tässä työssä tutkittiin 3000 sprinklerin järjestelmää. Marioff Oy arvioi että putkiston osuus tämän suuruisen järjestelmän massavirrasta on n. 70 %:n luokkaa.

Työn käytännön osuudessa putkistolle ja sen asennuskomponenteille laskettiin massat Marioff Oy:n tarjoaman tiedon perusteella. Putkiston kokonaismassaksi saatiin n. 32 600 kg. Massan ja Wuppertal-instituutin MIPS-tietokannan tietojen avulla laskettiin kuinka paljon luonnonvaroja tarvitaan putkiston vaatiman teräsmäärän tuottamiseen. Tällä tavoin voidaan arvioida tuotteen materiaalivirtoja.

Käytännön osuuden toisessa osassa laskettiin putkiston hiilijalanjälki. Outokummun Tuomas Haikan tarjoaman tiedon avulla putkistolle laskettiin hiilijalanjälki EU:n keskiarvoisen ja Outokummun oman teräksen hiilidioksidipäästöarvoilla. Lisäksi laskettiin

myös, kuinka paljon putkiston ja asennuskomponenttien valmistaminen tuottaa päästöjä. Sen osuus kokonaispäästöistä asettuu n. 2,8 - 4,7 %:n välille, riippuen siitä kuinka paljon valmistuksen arvioidaan tuottavan päästöjä. Kokonaishiilijalanjälki on n. 102 200 – 116 900 kg, riippuen teräslaadusta ja valmistuksen päästöarviosta.

Elinkaaritutkimuksen lopputulosten käytännöllisyys ja luotettavuus riippuu tutkimuksen kohteena olevasta tuotteesta ja saatavilla olevan tiedon määrästä ja laadusta. Ennen tutkimusta tulee selvittää, minkälaista tietoa on saatavilla ja riittääkö se haluttujen tulosten saavuttamiseen. Vesisumusammutusjärjestelmän tapauksessa laajempaan ja koko järjestelmää koskevaan tutkimukseen tarvittavaa tietoa on liian vähän. Ympäristöystävällisempään tuotantoon ja toimintaan johtavan kehityksen tulisi perustua yrityksen resurssien, mahdollisuuksien ja tarpeiden tunnistamiseen eikä itse tavoitteeseen eli yleisesti ympäristöystävällisempään toimintaan.

Lähteet

Bates, S. 2012. Recycling and production. Verkkodokumentti.

<<http://www.outokumpu.com/en/Sustainability/sustainable-operations/Environment-and-energy/Recycling-production/Pages/Recycling-production.aspx>> 2012. Luettu 18.5.2012.

British Standards Institution. 2011. Guide To PAS 2050:2011 How to carbon footprint your products, identify hotspots and reduce emissions in your supply chain. Lontoo.

British Standards Institution. 2011. PAS 250:2011 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. Lontoo.

Draft international standard. 2011. ISO/DIS 14067. Carbon footprint of products. Requirements and guidelines for quantification and communication.

European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. 2010. ILCD Handbook: Framework and requirements for life cycle impact assessment models and indicators. Luxembourg. <<http://lct.jrc.ec.europa.eu/pdf-directory/ILCD-Handbook-LCIA-Framework-requirements-online-12March2010.pdf/view>> 2010. Luettu 16.5.2012.

FINLCA. 2010. Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. Verkkodokumentti.

<<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=116835&lan=fi>> 2010. Luettu 3.5.2012.

FINLCA. 2012. Elinkaarimenetelmät yrityksen päätöksenteon tukena. Verkkodokumentti. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=408976&lan=fi>> 2012. Luettu 8.5.2012.

Finnveden, G. Hauschild, M. Ekvall, T. Guinée, J. Heijungs, R. Hellweg, S. Koehler, A. Pennington, D. & Suh, S. 2009. Recent developments in Life Cycle Assessment. Journal of Environmental Management. 2009.

Global Footprint Network. 2012. Carbon Footprint. Verkkodokumentti.

<http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/carbon_footprint/>. 26.7.2011. Luettu 2.5.2012.

Kenny, T, Gray, N. 2008. Comparative performance of six carbon footprint models for use in Ireland. Verkkodokumentti.

<http://www.ireea.cn/paddy/pd_admin/web_edit/uploadfile/20100409231701762.pdf> Luettu 3.5.2012.

Marioff Corporation Oy. 2008. HI-FOG hotelleihin. Verkkodokumentti.

<http://www.marioff.com/media/brochures/en_GB/localized-brochures/> Luettu 7.8.2012.

Marioff Corporation Oy. HI-FOG Water mist general background information.

Meiseri, A . 2010. Tuotteen hiilijalanjälki ja sen laskenta. Opinnäytetyö. Lahden Ammattikorkeakoulu.

Ovaskainen M, Tonteri H. 2011. Hybrid life cycle assessment of semitrailertruck with stainless steel tank. Tutkimusraportti. VTT.

Ritthoff, M. Rohn, H. Liedtke C, Merten T. Suom. Kinnunen Venla, Koski Eija, Lettenmeier Michael. 2004. MIPS-laskenta.
<www.sll.fi/luontojaymparisto/kestava/materiaaleja/WIspecial27fi.pdf> 2004. Luettu 7.5.2012

Semkina, S. 2012. Elinkaaresta tuli valtti vientiteollisuudelle. Tekniikka ja Talous 16/20012, s. 2-3..

SFS. 2006. SFS-EN ISO 14040 Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet.

SFS. 2006. SFS-ENISO 14044 Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja.

Suh, S. Lenzen, M. Treloar, G.J. Hondo. H. Horvath, A. Huppes, G. Jolliet, O. Klann, U. Krewitt, W. Moriguchi, Y. Munksgaard, J & Norris, G. 2003. Verkkodokumentti.
<<http://pubs.acs.org/doi/pdfplus/10.1021/es0263745>> 18.12.2003. Luettu 8.5.2012

Suomen Luonnon Suojeluliitto. 2009. KotiMIPS-tutkimus, Julkaisut.
<www.sll.fi/luontojaymparisto/kestava/mips/index_html/kotimips/julkaisut> 4.8.2009. Luettu 6.5.2012

Tuomo, R. Jukka, V. 2005. Uudet sammutteet ja sammutusteknologiat. Verkkodokumentti.
<[http://www.pelastusopisto.fi/pelastus/hankkeet/ptr/home.nsf/files/Uudet_sammutteet/\\$file/Uudet_sammutteet.pdf](http://www.pelastusopisto.fi/pelastus/hankkeet/ptr/home.nsf/files/Uudet_sammutteet/$file/Uudet_sammutteet.pdf)> Luettu 26.4.2012.

United Nations Framework Convention on Climate Change. 2012. Global Warming potentials. Verkkodokumentti. <http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php> Luettu 3.5.2012

BOM 800 sprinklers

| TuoteNumero | TuoteNimi1 | Määrä |
|--------------------|----------------------|--------------|
| A01005 | DIN17457 D12X1,2W B | 4263 |
| A01030 | DIN17457 D30X2,5W B | 609 |
| A01035 | DIN17457 D38X3W B | 1966,2 |
| A10012 | RAA6-112 LONG | 4252 |
| A10032 | RAA6-430 LONG | 304 |
| A10034 | RAA6-538 LONG | 980 |
| A11015 | RAA-112 | 4252 |
| A11035 | RAA-430 | 300 |
| A11035 | RAA-430 | 304 |
| A11040 | RAA-538 | 980 |
| A11107 | RCP-330 | 2 |
| A12006 | DP-A1 E | 4252 |
| A12018 | DP-A4 E | 300 |
| A12018 | DP-A4 E | 304 |
| A12022 | DP-A5 E | 980 |
| A12046 | DP-C3 E | 2 |
| A13007 | APL-A1 E | 4252 |
| A13025 | APL-A4 E | 300 |
| A13025 | APL-A4 E | 304 |
| A13033 | APL-A5 E | 220 |
| A13033 | APL-A5 E | 980 |
| A20005 | 12S/P-06/12S-5000E | 0 |
| A20005 | 12S/P-06/12S-5000E | 0 |
| A20035 | 12S/B-06/12S-600A | 2 |
| A200421 | 38S/E-16/38S90-1000B | 4 |
| A20082 | 12S/G-06/12S-1700E | 2 |
| A311503 | DN100/65/65 | 2 |
| A32030 | NS100-114,3X3 B | 2 |
| A32130 | DIN2642 NS100 E | 2 |
| A32134 | NS100 TYPE50 | 2 |
| B01020 | G12-S-C | 540 |
| B01040 | G30-S-C | 50 |
| B01045 | G38-S-C | 410 |
| B02005 | KOR8/12S C | 9 |
| B02158 | RED30/12-S | 10 |
| B02163 | RED38/30-S | 2 |
| B02163 | RED38/30-S | 10 |
| B03115 | T12S-A | 0 |
| B03115 | T12S-A | 1 |
| B03115 | T12S-A | 12 |
| B03115 | T12S-A | 353 |

| | | |
|----------|----------------------|-----|
| B03130 | T30-S A | 6 |
| B03130 | T30-S A | 20 |
| B03135 | T38-S A | 2 |
| B03135 | T38-S A | 4 |
| B03135 | T38-S A | 122 |
| B03335 | 38S/1X12S-C | 9 |
| B03740.1 | 30S/1+1x12S-A | 135 |
| B03760.1 | 38S/1+1x12S-A | 270 |
| B04105 | VKA8-S C | 15 |
| B04110 | VKA12-S C | 0 |
| B04110 | VKA12-S C | 446 |
| B04125 | VKA30-S C | 30 |
| B04130 | VKA38-S C | 40 |
| B10010 | XGE8-SR1/8-C | 18 |
| B10018 | XGE8-SR1/4-C | 18 |
| B10034 | XGE12-SR1/4-C | 2 |
| B10034 | XGE12-SR1/4-C | 9 |
| B10038 | XGE12-SR3/8-C | 27 |
| B10043 | XGE12S-BSPT 1/4-LEFT | 2 |
| B10043 | XGE12S-BSPT 1/4-LEFT | 2 |
| B10043 | XGE12S-BSPT 1/4-LEFT | 2 |
| B10111 | XEGE8-LR1/8-ED-C | 9 |
| B10122 | XEGE12-SR1/4-C | 0 |
| B10122 | XEGE12-SR1/4-C | 0 |
| B10122 | XEGE12-SR1/4-C | 0 |
| B10122.1 | XEGE12-SR1/4-B | 1 |
| B11020 | XG12-S | 2 |
| B12005 | XKOR8/12-S C | 9 |
| B12015.1 | XKOR12/8-S B | 10 |
| B12230 | XGR38/30-S C | 2 |
| B13013 | EW12-S B | 9 |
| B13204 | X12S/1XR1/4-C | 9 |
| B13204 | X12S/1XR1/4-C | 1 |
| B13204 | X12S/1XR1/4-C | 9 |
| B13275.1 | X38S/1+1XR3/8-B | 18 |
| B14105 | VKA8-S C | 15 |
| B14110 | VKA12-S C | 0 |
| B14110 | VKA12-S C | 0 |
| B14110 | VKA12-S C | 0 |
| B14110 | VKA12-S C | 446 |
| B14125 | VKA30-S C | 30 |
| B14130 | VKA38-S C | 80 |
| B14130 | VKA38-S C | 40 |
| B14210 | VSTI1/4" C | 0 |
| B14230 | VSTI1" C | 1 |

| | | |
|----------|--------------------------|------|
| B14255 | XMAVE-12S-C | 0 |
| B14255 | XMAVE-12S-C | 0 |
| B14255 | XMAVE-12S-C | 18 |
| B15010 | DPR08-S EO | 39 |
| B15020 | DPR12-S EO | 9 |
| B15020 | DPR12-S EO | 0 |
| B15020 | DPR12-S EO | 0 |
| B15020 | DPR12-S EO | 0 |
| B15020 | DPR12-S EO | 2 |
| B15020 | DPR12-S EO | 30 |
| B15045 | DPR38-S EO | 6 |
| B15045 | DPR38-S EO | 36 |
| B15115 | M8-S A3C | 9 |
| B15122 | FM08SSSA EO2 | 30 |
| B15130 | M12-S A3C | 9 |
| B15130 | M12-S A3C | 0 |
| B15130 | M12-S A3C | 0 |
| B15130 | M12-S A3C | 0 |
| B15130 | M12-S A3C | 2 |
| B15130 | M12-S A3C | 30 |
| B15138 | FM12SSSA EO2 | 1300 |
| B15167 | FM30SSSA EO2 | 330 |
| B15180 | M38-S A3C | 6 |
| B15180 | M38-S A3C | 36 |
| B23035 | 16140 2 1/2" 200bar E | 6 |
| B23040 | SAE2.5" OUTLET FLANGE | 2 |
| B23041 | SAE2.5" EXTENSION FLANGE | 2 |
| B23075 | 6140 B | 8 |
| C20034 | 1N1MC6MC10RA | 0 |
| C20034 | 1N1MC6MC10RA | 10 |
| C20034 | 1N1MC6MC10RA | 320 |
| C22145 | 5N1MC8MC10RA | 25 |
| C40022.1 | A1000A1A-T11D12S10 | 345 |
| C43072.1 | RA715F-S00D12S10 | 544 |
| C44096 | A2000N1A-T11D12S10 | 250 |
| C44096 | A2000N1A-T11D12S10 | 320 |
| C44096 | A2000N1A-T11D12S10 | 273 |
| C55030 | M18X1,5-12S | 1 |
| C56000.1 | M18X1,5+OR AV8 ASM | 100 |
| C56002 | M18X1,5 AV8 PLUG | 100 |
| C61510/0 | C20-57C/0 | 566 |
| C61600/0 | C12-57C/0 | 251 |
| D01024.4 | SVM 40-A2N-S38/38-30-M | 9 |
| D06170 | SBA 40-A3P-S38/38-10-M | 1 |
| D06170 | SBA 40-A3P-S38/38-10-M | 5 |

| | | |
|------------|---------------------------|------|
| D23021 | FT1251/02-01-8S | 9 |
| D23050 | 8-S 750 | 1 |
| D30005 | BKH12S (AS.) | 0 |
| D30005 | BKH12S (AS.) | 0 |
| D30005 | BKH12S (AS.) | 5 |
| D30005.1 | BKH12S+D4C-1202 | 1 |
| D30005.1 | BKH12S+D4C-1202 | 10 |
| D30030.1 | BKH38S+D4C-1202 | 18 |
| D30110 | RHD12S | 1 |
| D30110 | RHD12S | 9 |
| D30145 | RHD38S | 9 |
| D31005 | XBKH12S AISI316 | 0 |
| D31005 | XBKH12S AISI316 | 0 |
| D31005 | XBKH12S AISI316 | 8 |
| D31005 | XBKH12S AISI316 | 5 |
| D31005.1 | XBKH12S+D4C-1202 | 1 |
| D31005.1 | XBKH12S+D4C-1202 | 10 |
| D31060.1 | XBKH38S+D4C-1202 | 2 |
| D31060.1 | XBKH38S+D4C-1202 | 18 |
| D34006 | B30114 R1/4" MS | 0 |
| D34065.4 | DN100 ONNLINE+MICROSWITCH | 2 |
| E01000 | 0-270BAR | 1 |
| E012599 | MSPU03+0M/O2/BB0/0 | 2 |
| E0126022.1 | MSPU03+0S/O2/BB0/0 | 2 |
| E012605.1 | MSPU6 | 2 |
| E0126084 | 1380/234/75-D38 | 2 |
| E0126085 | 1380/100/341-D38 | 2 |
| E0126086 | 100/375-D38 | 2 |
| E033993 | DN100-SAE2,5" | 4 |
| E034710 | DN65 0/90DEG | 2 |
| E034712 | D30X2,5/30S L=225 | 4 |
| E04003 | SIRIO106T | 16 |
| E31001 | SAE2.5" SS | 2 |
| E40040 | TROJAN TYPE-J 11:1 | 1 |
| E40040 | TROJAN TYPE-J 11:1 | 1 |
| E41005 | MSB4-1/4:H1:H4-WP | 0 |
| E41303 | KAESER PREMIUM200/24D | 1 |
| E41309 | MAKITA AC310H | 1 |
| E41309 | MAKITA AC310H | 1 |
| F00021 | DIN912 M5X16 8.8 ZN | 10 |
| F01060 | DIN912 M10X70 8.8 ZN | 4 |
| F01095 | DIN912 M12X40 8.8 ZN | 8 |
| F01121 | DIN912 M12X60 8.8 ZN | 8 |
| F10010 | DIN933 M6X30 8.8 ZN | 8504 |
| F10025 | DIN931 M6X45 8.8 ZN | 600 |

| | | |
|-----------|--------------------------|------|
| F10025 | DIN931 M6X45 8.8 ZN | 608 |
| F10035 | DIN931 M6X60 8.8 ZN | 1960 |
| F10075 | DIN931 M16X70 8.8 ZN | 24 |
| F10084 | DIN931 M16X120 8.8 ZN | 16 |
| F40075 | DIN985 M12 8 ZN | 8 |
| F40105 | DIN985 M16 8 ZN | 40 |
| G00085 | OR D6,5X1,6 NBR70 | 15 |
| G00125 | OR D9,0X1,5 NBR70 | 0 |
| G00125 | OR D9,0X1,5 NBR70 | 0 |
| G00125 | OR D9,0X1,5 NBR70 | 446 |
| G01055 | OR D12,0X1,5 NBR70 | 100 |
| G01215 | OR D15,0X1,5 NBR70 | 100 |
| G02107 | OR D27,3X2,4 NBR70 | 30 |
| G02185 | OR D33,3X2,4 NBR70 | 80 |
| G02185 | OR D33,3X2,4 NBR70 | 40 |
| G03075 | OR D69,44X3,53 NBR70 | 4 |
| G10005 | DKI 1/4" | 30 |
| G11011 | USIT R1/8" AISI316 | 27 |
| G11015 | USIT R1/4" | 0 |
| G11015 | USIT R1/4" | 0 |
| G11015 | USIT R1/4" | 1 |
| G11016 | USIT R1/4" AISI316 | 27 |
| G11021 | USIT R3/8" AISI316 | 36 |
| G11035 | USIT R1" | 1 |
| G12005 | ED-R1/8 90SH | 9 |
| G30115 | NS65 KLINGERIT | 6 |
| M0000014 | Pressure testing asm. | 1 |
| M01022 | 213.53.63.250B/P ALA | 0 |
| M01022 | 213.53.63.250B/P ALA | 36 |
| M1000014 | PK100-38S-ASM | 2 |
| M11015 | D34-36 AMF54924 | 2 |
| M13006 | 300X200X120 | 1 |
| M21012.1 | SI5010+E40099 | 1 |
| M21012.1 | SI5010+E40099 | 9 |
| M23010 | TRAFAG P6 | 2 |
| M23065.A | PN5001 0-250BAR | 1 |
| M23105 | PMN 50CINTR14"T40 APPTG | 2 |
| M23290 | VD1D.O/-W-LED 3/4-16 UNF | 6 |
| M25025.3 | IFM 3M | 0 |
| M25050.24 | 7000-29001-00000000 | 5 |
| M25220 | LKM-HF 4G16,L=20M | 12 |
| M26118 | D4C-1202 | 5 |
| M26118 | D4C-1202 | 1 |
| N00120 | BETATHERM 145 1.5 MU | 20 |
| N02070 | LM-HF 4X0,5 (RFE-HF) | 40 |

| | | |
|---------------|--------------------------|----|
| N02100 | LM-HF 12X1,5 | 40 |
| N40050 | A30-30-10-80 | 0 |
| N40080 | A63-30-00-80 | 12 |
| N40510 | CA5-10 | 24 |
| N40510 | CA5-10 | 2 |
| N40520 | CA5-01 | 12 |
| N40520 | CA5-01 | 2 |
| N41080 | PLC-RSC-230UC/21 | 2 |
| N41090 | PLC-RSC-230UC/21-21 | 2 |
| N41680 | CT-ERS.12 | 1 |
| N82080 | 99-0430-5204 M12-1 PG | 10 |
| O-0001525 | RELEASE PANEL | 1 |
| O96036.62145B | 62145 VILNIUS UNIVERSITY | 1 |
| O96036.62145M | 62145 VILNIUS UNIVERSITY | 1 |

Putkilaskelmat

800 systeemi:

Putket:

DIN17457 D12X1,2W B 4263 m

DIN17457 D30X2,5W B 609 m

DIN17457 D38X3W B 1966 m

Straight fitting: (Huom1 per 5.8 m)

G12-S-C 540 kpl

G30-S-C 50 kpl

G38-S-C 410 kpl

T-kappaleet:

T12S-A 366 kpl

T30-S A 26 kpl

T38-S A 128 kpl

Distribution block:

12S/1XR1 kpl

30S/1XR1 kpl

38S/1XR1 kpl

Tuote per Sprinkleri:

DIN17457 D12X1,2W B 5,329 m

DIN17457 D30X2,5W B 0,761 m

DIN17457 D38X3W B 2,458 m

T12 0,458 kpl

T30 0,033 kpl

T38 0,160 kpl

3000 sprinkleriä:

DIN17457 D12X1,2W B 15986 m

DIN17457 D30X2,5W B 2284 m

DIN17457 D38X3W B 7373 m

T12 1373 kpl

T30 98 kpl

T38 480 kpl

G12-S-C 2756 kpl

G30-S-C 394 kpl

G38-S-C 1271 kpl

12S/1XR1 19 kpl

30S/1XR1 135 kpl

38S/1XR1 297 kpl

Paino kg/m/kpl:

0,322

1,71

2,61

0,22

1,40

2,10

0,14

0,76

1,17

0,5

1,16

1,60

Kokonaispaino:

5147,6 kg

3905,2 kg

19244,2 kg

302,0 kg

136,5 kg

1008,0 kg

385,9 kg

299,3 kg

1487,4 kg

9,5 kg

156,6 kg

475,2 kg

Systeemin kokonaismassa:

32557 kg

Asennuskomp. massa:

4260,2

| Mips: 17 % Cr, 9 % Ni | Abioottiset | bioottiset | vesi | ilma |
|-----------------------|-------------|------------|-----------|----------|
| kg/kg | 17,94 | 0 | 240,33 | 3,38 |
| Koko Putkisto | 584076,26 | | 7824473,1 | 110043,4 |

Putkiston hiilidioksidipääs-
töt:

| | EU keskiarvo: | Outokumpu: |
|-----------------------|---------------|------------|
| kg/kg terästä | 3,441 | 3,038 |
| Putken valmistus min. | 0,1 | 0,1 |
| Putken valmistus max. | 0,15 | 0,15 |
| Yhteensä min. | 115285,06 | 102164,51 |
| Yhteensä max. | 116912,92 | 103792,37 |